

---

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 <i>Idee und Motivation</i>	5
1.2 <i>Zielsetzung</i>	6
1.3 <i>Kapitelübersicht</i>	7
<b>2 Funktionsweise und Grundlagen</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Späne</i>	9
2.1.1 <i>Spanerzeugende Verfahren</i>	9
2.1.2 <i>Unterschiedliche Spanformen</i>	12
2.2 <i>Funktionsweise von Metallspäneschreddern</i>	15
2.3 <i>Vorteile durch das Späneschreddern</i>	16
<b>3 Konstruktion des Zerkleinerers</b>	<b>18</b>
3.1 <i>Vorstellung des genutzten CAD-Programms</i>	18
3.2 <i>Ideen zur kostenoptimierten Konstruktion</i>	19
3.3 <i>Teile des Zerkleinerers, deren Konstruktion und Funktion</i>	21
3.3.1 <i>Zukaufteile</i>	21
3.3.1.1 <i>Antrieb</i>	21
3.3.1.2 <i>Schneidwerk und Sieb</i>	21
3.3.2 <i>Eigenkonstruktionen</i>	22
3.3.2.1 <i>Kantteile</i>	23
3.3.2.2 <i>Seitenteile</i>	25
3.3.2.3 <i>Bodenplatte</i>	26
3.3.2.4 <i>Welle</i>	27
3.3.2.5 <i>Kleinteile</i>	28

---

3.3.3	Baugruppen .....	30
3.3.3.1	Sieb.....	30
3.3.3.2	Messer .....	31
3.3.3.3	Vollständige Maschine .....	32
3.4	<i>Aufgetretene Schwierigkeiten</i> .....	32
<b>4</b>	<b>Bau des Zerkleinerers.....</b>	<b>35</b>
4.1	<i>Vorstellung der Firmen</i> .....	35
4.2	<i>Herstellung der Einzelteile und Zusammenbau</i> .....	36
4.3	<i>Zusammenbau</i> .....	40
4.4	<i>Fazit</i> .....	43
<b>5</b>	<b>Probelauf der Maschine.....</b>	<b>45</b>
5.1	<i>Analyse der Späne</i> .....	47
5.2	<i>Zerkleinerung der Späne</i> .....	48
5.3	<i>Fazit</i> .....	49
<b>6</b>	<b>Kostenaufstellung einer Komplettanlage.....</b>	<b>51</b>
6.1	<i>Teile einer Komplettanlage</i> .....	51
6.2	<i>Vergleich</i> .....	54
<b>7</b>	<b>Reflexion und Zusammenfassung .....</b>	<b>56</b>
7.1	<i>Reflexion</i> .....	56
7.2	<i>Zusammenfassung</i> .....	56
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
<b>Anlagen</b>	<b>.....</b>	<b>60</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>.....</b>	<b>61</b>

---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spanformen .....	12
(http://patentimages.storage.googleapis.com/DE102013005158A1/DE102013005158A1_0002.png)	
Abbildung 2: Einwellenzerkleinerer .....	15
<a href="https://www.erdwich.com/fileadmin/_processed_/d/d/csm_01_1-Wellen-Zerkleinerer_1110x267px_cba98f9c8a.jpg">https://www.erdwich.com/fileadmin/_processed_/d/d/csm_01_1-Wellen-Zerkleinerer_1110x267px_cba98f9c8a.jpg</a>	
Abbildung 3: Typischer Spänekäuel .....	16
<a href="http://www.ith.fi/perch/resources/lastukontti-w400.jpg">http://www.ith.fi/perch/resources/lastukontti-w400.jpg</a>	
Abbildung 4: Logo Solidworks 2016 .....	18
<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/SolidWorks#CAD-Programm">https://de.wikipedia.org/wiki/SolidWorks#CAD-Programm</a>	
Abbildung 5: Rückwand (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	23
Abbildung 6: Vorderwand (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	24
Abbildung 7: Seitenteil (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	25
Abbildung 8: Bodenplatte (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	26
Abbildung 9: Welle (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	27
Abbildung 10: Zweiteilige Schleißplatte (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	28
Abbildung 11: Schleißscheibe (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	29
Abbildung 12: Sieb (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	30
Abbildung 13: Welle mit Messern (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	31
Abbildung 14: Komplette Maschine (Screenshot SolidWorks, eigenes Archiv) .....	32
Abbildung 15: Gelaserte Teile (Eigenes Foto) .....	36

---

Abbildung 16: Gelaserte und gekantete Teile (Eigenes Foto) .....	37
Abbildung 17: Welle mit Lager (Eigenes Foto) .....	38
Abbildung 18: Schaltschrank geschlossen (Eigenes Foto) .....	39
Abbildung 19: Schaltschrank offen (Eigenes Foto) .....	39
Abbildung 20: Seitenteil mit Messerträger (Eigenes Foto) .....	40
Abbildung 21: "Maschinenrahmen" und Schleißscheibe (Eigenes Foto) .....	40
Abbildung 22: Eingesetzte Schleißplatte (Eigenes Foto) .....	41
Abbildung 23: Eingesetztes Sieb (Eigenes Foto) .....	41
Abbildung 24: Maschine mit Welle und unterer Schleißplatte (Eigenes Foto) .....	42
Abbildung 25: Welle an Maschine angeflanscht (Eigenes Foto) .....	42
Abbildung 26: Fertige Maschine, drehend (Eigenes Foto) .....	42
Abbildung 27: Riemenantrieb (Eigenes Foto) .....	42
Abbildung 28: Komplette Maschine mit Trichter (Eigenes Foto) .....	43
Abbildung 29: Einbauort des Zerkleinerers (Eigenes Foto) .....	46
Abbildung 30: Zu zerkleinernde Späne (Eigenes Foto) .....	47
Abbildung 31: Späne nach Zerkleinerung (Eigenes Foto) .....	48
Abbildung 32: Komplettanlage Firma Erdwich .....	51
 <a href="http://www.pamax.ch/fileadmin/_processed_/csm_spaenebrecher_ac1f22beec.jpg">http://www.pamax.ch/fileadmin/_processed_/csm_spaenebrecher_ac1f22beec.jpg</a>	
Abbildung 33: Kalkulation (Screenshot Excel, eigenes Archiv) .....	54

---

# 1 Einleitung

Im einleitenden Kapitel wird die Idee und die Motivation dieser Arbeit dargelegt. Zudem wird die Zielsetzung erläutert. Des Weiteren erfolgt auch ein Ausblick über die einzelnen Kapitel der Diplomarbeit.

## 1.1 Idee und Motivation

In Zeiten des ökologischen Wandels bzw. Denkens ist es unerlässlich mit Ressourcen, wie Öl, Eisen und diversen anderen Metallen schonend umzugehen. In großen metallverarbeiteten Betrieben ist es bereits schon länger ein Thema wie man Metallspäne, welche bei einem geringen Gewicht ein großes Volumen einnehmen, in eine kompaktere, weniger platzverschwenderische Form bekommt. Die Antwort ist hierfür relativ simpel: Ein Zerkleinerer für die anfallenden Reste.

Diese Schredder für Metall(-späne) gibt es in allen Größen und für fast alle Einsatzgebiete. Vom Zerkleinerer für komplette Autos, über Modelle, welche Kühlschränke in cornflakesgroße Teile zerkleinern, bis hin zum Schredder für Späne mit einem bis zwei Zehntel Millimeter Querschnitt ist alles am Markt vorhanden.

Das Preisniveau für die Späneschredder, von den am Markt etablierten Hersteller, ist relativ hoch, da die Maschinen in der Regel als universell einsetzbare Zerkleinerer konzipiert sind. Leider wurden die am Markt befindlichen Maschinen nicht mit dem Augenmerk auf geringe Herstellkosten, sondern mit Blick auf innovative Funktionsweise, beziehungsweise universelle Verwendbarkeit konstruiert und gebaut. Der Preis stellt für große Betriebe kein Hindernis dar, da diese meist die finanziellen Mittel für die Anschaffung einer perfekten Lösung zur Hand haben. Aber für kleine bis mittelständige Unternehmen ist die Anschaffung eines Zerkleinerers, aufgrund ihres geringeren Budgets, ein Problem.

Allerdings wurden diese Zerkleinerer seit ihrer Einführung kaum weiterentwickelt, da die Funktion der Maschinen, die in dieser Diplomarbeit als Referenz dienen, tadellos ist. Durch den Fortschritt in der Metallbearbeitung durch, zum Beispiel, die Weiterentwicklung des Laserschneidens von Metall, ist es möglich Teile kostengünstiger und effizien-

---

ter herzustellen. Dadurch ergibt sich bei den hier betrachteten Maschinen ein großes Potenzial diese, durch clevere Konstruktion und die Beachtung der Fortschritte in der Metallverarbeitung, günstiger herzustellen. Diese Idee macht den Spänezerkleinerer für kleinere Firmen interessant.

Außerdem wird diese Art von Zerkleinerern meist in räumlich begrenzten Bereichen verbaut. Auch hier ist es möglich eine, im Vergleich zu den älteren Maschinen, wesentlich kompaktere Anlage zu bauen.

## **1.2 Zielsetzung**

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es aufzuzeigen das es durch wirtschaftsingenieurmäßige Herangehensweise möglich ist einen Metallspäneschredder zu bauen, der bei gleicher Leistungsfähigkeit, wie die marktgängigen Maschinen, kostengünstiger und platzsparender ist.

Um diese zwei Hauptziele zu erreichen, befasst sich diese Arbeit mit dem Eigenbau eines Zerkleinerers, der die oben genannten Aspekte zur Verbesserung der Konstruktion und Fertigung berücksichtigt. Dafür wird im CAD-Programm „SolidWorks 2016“ ein 3D-Modell erstellt. Zudem wird eine Bedarfsanalyse gemacht, um aufzuzeigen ob eine Neukonstruktion Sinn macht oder ob der finanzielle Vorteil gegenüber, den auf dem Markt befindlichen, Produkten zu gering ist.

Zudem erfolgt eine exemplarische Kostenaufstellung für eine komplette, schlüsselfertige Anlage, um einen Überblick über die kompletten anfallenden Anschaffungs- und Betriebskosten für ein mittelständiges Unternehmen zu erhalten.

Des Weiteren werden die ökologischen Aspekte von Metallspäneschreddern dargelegt.

---

## 1.3 Kapitelübersicht

Diese Diplomarbeit besteht aus sieben Kapiteln.

Nach dem ersten Kapitel, welches als allgemeine Einleitung für die Diplomarbeit dient, geht es im zweiten Kapitel um die Funktionsweise der Metallspäneaufbereitung und deren positiven Aspekte. Dazu kommt auch eine Betrachtung der verschiedenen Spänearten und eine Spezifizierung, welche Metallspäne für diese Arbeit von Interesse sind. Hierfür werden auch die zerspanenden Prozesse, bei denen diese Art von Spänen entsteht, erwähnt.

Das dritte Kapitel handelt von der Konstruktion des Schredders. Zu Beginn wird das Programm vorgestellt mit welchem hier gearbeitet wurde, darauf folgt eine Eingrenzung der dort genutzten Tools. Ebenfalls kommt eine Erklärung welche Ideen beim Konstruieren der Maschine eingearbeitet wurden. Danach folgt eine Einteilung zwischen Teilen die selbst konstruiert und gefertigt werden und Zukaufteilen. Hierbei wird die Arbeitsweise kurz beleuchtet. Abschließend wird auf die aufgetretenen Probleme bei der Durchführung der Konstruktionsarbeit hingewiesen.

Im vierten Kapitel geht es um den Bau des Zerkleinerers. Zuerst folgt eine Vorstellung der Firma die die Metallarbeiten umsetzt und darauf folgend werden die Zuliefererteile, wie zum Beispiel Motor und Antriebselemente, näher betrachtet. Danach folgt eine Beschreibung des Zusammenbaus und am Ende kommt ein Fazit des Zusammenbaus mit Blick auf eventuelle Probleme bei diesem Arbeitsschritt.

Kapitel fünf dreht sich um den Probelauf der Maschine. Zunächst werden die zu zerkleinernden Späne analysiert und es wird auch dargelegt woher diese stammen. Im Folgenden wird überprüft ob der Schredder die vorgegebenen Aufgaben erfüllt.

Das sechste Kapitel ist eine Kostenaufstellung für eine komplett schlüsselfertige Anlage. Hier wird erläutert welche Teile zu einer solchen Komplettanlage gehören und dabei werden auch deren Kosten aufgezeigt. Anschließend kommt der kalkulatorische Teil, welcher sich mit den relevanten Zahlen, wie Herstellkosten oder Verkaufspreis auseinanderzusetzen.

Im siebten und letzten Kapitel folgt ein Fazit in welchem analysiert wird welche Dinge gut oder nicht optimal gelaufen sind. Ein Teil hiervon ist auch eine Reflexion.





---

## 2 Funktionsweise und Grundlagen

In dem nun folgenden Kapitel werden die allgemeinen Themen im Bereich über Metallzerkleinerer erklärt, hier gehört auch eine Eingrenzung dazu welche Art von Maschine für diese Arbeit als Basis dient. Anschließend werden die Vorteile dieser Anlagen aufgezeigt. Da es sich hier um einen Späneschredder handelt werden auch die diversen Spänearten erläutert.

### 2.1 Späne

In diesem Kapitel soll ein Überblick über die Entstehung von Spänen und deren Vielfältigkeit geben.

#### Spannbildung

„Die eindringende Werkzeugschneide bewirkt am Werkstück eine Stauchung, Verfestigung und Abscherung des Werkstoffs. Es bilden sich dadurch schuppenförmige Werkstoffverschiebungen vor der Werkzeugschneide. Diese Werkstoffverschiebungen verschweißen wieder zusammenhängend oder können abreißen und es entstehen so unterschiedliche Spanarten.“<sup>1</sup>

#### 2.1.1 Spanerzeugende Verfahren

Da es sehr viele spanende Verfahren gibt, werden im Folgenden zwei Verfahren näher betrachtet, welche die, für diese Arbeit, relevanten Späne liefern.

#### Fräsen<sup>2</sup>

Hierbei handelt es sich spanendes Fertigungsverfahren, bei dem die Zerspanung durch ein rotierendes Schneidwerkzeug erfolgt. Das Werkstück ist dabei fest eingespannt, um

---

<sup>1</sup> Koether, Rau (1999): „Fertigungstechnik“, S.116, Hanser-Verlag, 2. Auflage

<sup>2</sup> Vgl. <http://www.precifast.de/spanende-fertigungsverfahren/>

---

verrutschen zu verhindern. Der Vorschub kann über 2 Wege variiert werden. Der erste Weg ist das Bewegen des Fräswerkzeugs um das Werkstück herum, wohingegen bei der anderen Variante der komplette Maschinentisch dementsprechend verschoben wird. Die Bearbeitung kann an allen Achsen des Werkstücks erfolgen.

Eine grundsätzliche Unterscheidung gibt es bei der Laufrichtung des Fräswerkzeugs. Beim Gegenlaufräsen bewegt sich die Schneide am Werkstück gegen die Vorschubrichtung, beim Gleichlaufräsen ist dies umgekehrt. Letzteres ist die üblicherweise verwendete Variante, da sie einen höheren Vorschub erlaubt, bei gleichzeitig geringerem Kraftaufwand und Werkzeugverschleiß.

Heutzutage werden CNC-Bearbeitungszentren benutzt, welche fünf oder mehr Bewegungsachsen besitzen und es somit ermöglichen komplizierte Geometrien abzubilden.

Ein Beispiel für die Anwendung des Fräsverfahrens sind Motorblöcke im Automobilbau. Motorblöcke werden zuerst in einem Gießverfahren hergestellt und daraufhin in einem Bearbeitungszentrum überfräst, um definierte und präzise Flächen zu erhalten.

## **Drehen<sup>3</sup>**

Beim Drehen wird, im Gegensatz zum Fräsen, das Werkstück bewegt. Diese Bewegung ist eine Rotation um die eigene Achse

Der auf einem Schlitten eingespannte Drehmeißel wird entsprechend der gewünschten Formgebung am Werkstück entlang bewegt.

Eines der Aufgabengebiete von Drehmaschinen ist das Schneiden von Gewinden. Die Einschränkungen beim klassischen Drehen liegen darin, dass das Werkstück rotations-symmetrisch sein muss. Allerdings ist es mit heutigen CNC-Drehmaschinen auch möglich komplexere Formen durch Drehen zu fertigen.

---

<sup>3</sup> Vgl. <http://www.precifast.de/spanende-fertigungsverfahren/>

---

Ein Beispiel für ein Drehteil ist eine Bremsscheibe. Ähnlich wie beim Fräsen eines Motorblocks wird zunächst der Rohling der Scheibe gegossen und danach wird eine Feinbearbeitung durch Drehen durchgeführt.

## 2.1.2 Unterschiedliche Spanformen

In diesem Kapitel wird nicht auf die Spanarten und die Entstehung der Späne eingegangen, sondern lediglich auf die Spanformen.

„Unter Spanform versteht man die Form, mit der ein Span Abschluss des Spanbildungsvorgangs die Spanfläche des Werkzeugs verlässt. Die Spanformen sind seit Einführung der Hartmetall- und Keramikwerkzeuge zum Problem geworden. Dies gilt besonders für die Bearbeitung lang spanender Werkstoffe. Durch die vom Hartmetall her bedingten hohen Schnittgeschwindigkeiten fällt zum einen eine hohe Spanmenge je Zeiteinheit an (Transportproblem!). zum anderen wird im Fließspanbereich gearbeitet, sodass die Beherrschung der Spanformen bzw. die damit verbundene notwendige Spanbrechung Schwierigkeiten bereitet. Vor allem der Fließspan tritt entsprechend den angewendeten Spanungsbedingungen in charakteristischen Spanformen auf, die in Spanformklassen zusammengefasst wurden.“<sup>4</sup>

		Spanform- klasse	Spanraum- zahl $V_{\text{span}}/V$	Beurteilung
Bandspäne		1	$\geq 90$	ungünstig
Wirrspäne		2	$\geq 90$	
Flachwendelspäne		3	$\geq 50$	
Lange, zylindrische Wendelspäne		4	$\geq 50$	
Wendelspanstücke		5	$\geq 25$	gut
Spiralspäne		6	$\geq 8$	
Spiralspanstücke		7	$\geq 8$	brauch- bar
Bröckelspäne		8	$\geq 3$	

Fig. 1

Abbildung 1: Spanformen

<sup>4</sup> Degner, Lutze, Smejkal (2002): „Spanende Verformung“, S.56, Hanser Verlag, 15. Auflage

---

Wie bereits in der obigen Definition zu lesen sind die langen, zylindrischen Späne und die Flachwendelspäne, dank der neuen Schneidmittel (z.B. Keramik), häufig in der Produktion anzutreffen, deshalb sind sie auch unter der Kategorie „brauchbar“ und nicht, wie in „Abb. 1: Spanformen“ dargestellt, unter „ungünstig“ zu sehen. Diese Spanformen bilden mittlerweile den Großteil der Späne.

Man kann auch erkennen das, aufgrund der Spiralförmigen, eine geringe Menge an Material ein großes Volumen einnimmt und auch ist es leicht zu erkennen das die Form und Beschaffenheit der Späne viele Möglichkeiten, für Schneidöl, bietet sich dort anzulagern.

Die Vorteile eines Spänezerkleinerers werden im Abschnitt „1.3 Vorteile durch das Späneschreddern“ herausgearbeitet.



---

## 2.2 Funktionsweise von Metallspäneschreddern



Abbildung 2: Einwellenzerkleinerer

Grundlegend ist die Funktion eines Zerkleinerers relativ schnell erklärt. Am oberen Ende der Maschine ist ein Einfülltrichter durch den das Material in die Maschine fällt. Unter dem Einfülltrichter kommt nun ein Schneidwerk, welches aus kreisförmigen Messern besteht, die auf einer Welle aufgereiht sind. Diese Welle ist der bewegte Teil des Schneidwerks. Fest montiert hingegen sind die Gegenmesser die am Gehäuse der Maschine verschraubt sind. Unter dem Schneidwerk befindet sich ein Sieb, welches sich konzentrisch an die Welle mit Messern schmiegt. Die Zerkleinerung erfolgt im Eingriff von der rotierenden Messerwelle und den Gegenmessern. Das Sieb dient dazu das Teile die noch nicht fein genug sind nicht in das Auffangbehältnis fallen, sondern durch die Rotation der Messerwelle wieder nach oben gezogen werden um nochmal durch das Schneidwerk zu gehen. Je nach Menge der zu verarbeitenden Stoffe kann die Größe der Maschine angepasst werden, falls aber eine Maschine mit nur einer Welle nicht mehr ausreichend ist, gibt es Maschinen in denen die festen Gegenmesser durch eine oder mehrere Wellen mit Messern ersetzt werden. Diese haben den Vorteil, dass sie sehr große Mengen an Spänen in kurzer Zeit zerkleinern können. Auch kann man die Größe der Messer ändern. Bei ausreichend großer Dimensionierung der Messer, gepaart mit einer hohen Antriebsleistung ist es sogar möglich ganze Autos in kompakte Teile zu zerkleinern.

Für die Diplomarbeit ist eine Maschine mit einer Welle interessant, in einer kleinen Ausführung, da die zu zerhackenden Späne zwar ein großes Volumen haben, aber eine klei-

---

ne Materialdicke aufweisen. Das hat zur Folge, dass der Widerstand des Materials recht gering ist und ohne oftmaliges Reversieren (= Kurzes Rückwärtslaufen der Maschine, damit verkeilte, größere Stücke gelöst werden und neu erfasst werden können) laufen kann. Zudem soll der Zerkleinerer auf kleinere Unternehmen abzielen, für die die Kapazität der Maschine ausreicht.

## 2.3 Vorteile durch das Späneschreddern

In metallverarbeitenden Betrieben mit spanabehender Fertigung stellen die anfallenden Späne einen oft unterschätzten Kostenfaktor dar. Anstatt produktiv zu arbeiten, muss der Maschinenbediener die Spänebehälter häufig selbst zu den Altmetallcontainern fahren.<sup>5</sup> Durch einen Späneschredder, der direkt am Bearbeitungszentrum verbaut ist, können unnötige Arbeitsgänge, wie Spänebehälter leeren, verringert werden, was wiederum Personalkosten einspart.



Abbildung 3: Typischer Spänekäuel

---

<sup>5</sup> Vgl. Broschüre Firma Erdwich (S.2)



---

Ein Zerkleinerer ist auch dienlich um die Überfüllung des Spänecontainers zu vermeiden. Bei einer Überfüllung kann es passieren, dass Späne wieder vom Förderer eingezogen werden<sup>6</sup>. Aus dieser Verstopfung des Förderers resultiert der Stillstand der Maschine.

Des Weiteren gibt es unnötige Abzüge beim erzielbaren Schrottpreis durch Verunreinigung durch Restölmengen in den Spänen<sup>7</sup>, denn es gibt einen höheren Erlös für Altmetall je reiner es ist. Beim Zerkleinerungsprozess an sich werden diese Restölmengen nicht direkt eingespart, da aber der Container für die Späne länger unter dem Schredder steht, hat das Öl länger Zeit von den Spänen abzutropfen und durch ein Sieb am unteren Ende des Behälters in ein Auffangbehältnis zu gelangen. Außerdem werden die großen Späneknäuel durch den Zerkleinerungsprozess in kleine Partikel zerteilt, an denen das Öl nicht so gut haftet und leichter abfließt. Durch die Rückführung des gesammelten Öls in das Maschinensystem wird eine zusätzliche Kosteneinsparung erzielt, denn dadurch muss man weniger frisches Öl in das Schmiersystem der Werkzeugmaschine einfüllen. Zudem dient dies auch dem Aspekt des Umweltschutzes, da weniger Öl beim Einschmelzen des Metallschrottes verbrannt wird.

Auf dem Betriebsgelände wird auch weniger Platz für die Lagerung der Späne in Anspruch genommen, da sich durch den Zerkleinerungsprozess das Volumen der Späne stark verkleinert. Aus dem gleichen Grund benötigt man auch weniger LKW-Fahrten vom Betrieb zum Schrottplatz, was dem Umweltschutz ebenfalls zu Gute kommt.

Durch die zerkleinerten Späne sinkt auch die Verletzungsgefahr durch sperrige und verhakte Spänegebilde.<sup>8</sup> Diese Knäuel sind schlecht in der Handhabung und müssen meist per Hand in die Container gedrückt werden, dabei könnte der Mitarbeiter Schnittwunden durch die scharfkantigen Späne erleiden.

Die Sauberkeit innerhalb des Betriebs nimmt auch zu, denn durch das Einsparen von vielen Arbeitswegen mit dem Spänecontainer sinkt die Gefahr das Späne beim Transport auf dem Betriebsgelände herabfallen.

---

<sup>6</sup> Vgl. Broschüre Firma Erdwich (S.2)

<sup>7</sup> Vgl. Broschüre Firma Erdwich (S.2)

<sup>8</sup> Vgl. Broschüre Firma Erdwich (S.2)

---

## 3 Konstruktion des Zerkleinerers

In diesem Kapitel geht es um einen wesentlichen Bestandteil dieser Arbeit, um die Konstruktion des Schredders. Zuerst wird auf das benutzte Programm eingegangen, danach werden die verschiedenen Ideen und Ansätze zum kostenoptimierten Konstruieren genannt und daraufhin folgt die Dokumentation der benötigten bzw. erstellten Teile, eingeteilt in die Kategorien Zukaufteile, Eigenkonstruktionen und Baugruppen. Am Ende wird noch auf entstandene Schwierigkeiten und Probleme bei der Umsetzung in CAD eingegangen.

### 3.1 Vorstellung des genutzten CAD-Programms



Abbildung 4: Logo Solidworks 2016

Für diese Arbeit wurde die CAD-Software „SolidWorks 2016“ verwendet. CAD steht für „Computer Aided Design“, was im Deutschen mit dem Konstruieren mit dem Computer übersetzt werden kann. In SolidWorks können parametrische Modelle, Baugruppen und Zeichnungen erzeugt werden. Typisch ist die Arbeitsweise mit Beziehungen (die Ausrichtung von Elementen zueinander) und Bemaßung (Ausrichten durch Werte). Die Bearbeitung früherer Arbeitsschritte ist durch die Untergliederung in Einzelschritte (Features) mög-

---

lich. Dadurch entstehen Teile, welche in Baugruppen verwendbar sind oder in Zeichnungen abgeleitet werden können.<sup>9</sup>

## 3.2 Ideen zur kostenoptimierten Konstruktion

Alle im Folgenden aufgeführten Optimierungen dienen dazu die Kosten für die Herstellung und den Verkaufs möglichst niedrig zu halten. Weitere Aspekte wie günstigere Werkstoffe werden hier nicht berücksichtigt, hier geht es rein um die Konstruktion

Zuerst wurden die händischen Zeichnungen einer bereits bestehenden Maschine, deren Funktion tadellos ist, als Vorlage genommen und durch Rücksprache mit einem Experten für Zerkleinerungstechnik analysiert. In Kooperation mit diesem Experten wurden einige Ideen gesammelt, wie man diese Maschine kostengünstiger herstellen kann.

Der erste Gedanke war das Antriebskonzept, welches bei bewährten Maschinen den Motor mit einer Kupplung direkt mit dem Wellenstummel des Zerkleinerers verbunden hat, auf ein System mit Riemen und Riemenscheiben umzustellen. Der Vorteil dieser Antriebsvariante besteht darin das der Motor nun auf der gleichen Seite wie das Schneidwerk steht, was neben dem Einsparen von Baubreite auch eine einfachere Konstruktion der Bodenplatte ermöglicht. Zudem ist das Riemensystem verschleißärmer und auch die Instandhaltungskosten fallen geringer aus, da einzelne Elemente getauscht werden können. Auch ist es hier von Nöten den kompletten Motor von der Bodenplatte abzuschrauben um die Kupplung zu tauschen. Vorteilhaft gegenüber eines Kettenantriebs ist es das der Riemenantrieb nicht geschmiert werden muss, da dieser sonst schneller verschleißt. Auch werden Verunreinigungen durch das Kettenfett reduziert. Da sich eine Kette mit andauernden Betrieb längt muss man die Kette regelmäßig nachspannen, wohingegen ein Riemen keine Längung bei andauerndem Betrieb aufweist, daher entfällt das Spannen des Riemen.

Eine weitere Idee um die Herstellung einfacher und damit kostengünstiger zu gestalten ist das Verwenden eines Stecksystems zwischen den Längs- und Querteilen. Auf die konkrete Funktion wird bei den Seitenwänden (Siehe 3.3.2 Eigenkonstruktionen, S. 99) näher eingegangen, da es anhand der Fotos leichter verständlich ist. Dieses Stecksystem hat

---

<sup>9</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/SolidWorks#CAD-Programm>

---

den Vorteil, dass man beim Schweißen des Zerkleinerers erheblich weniger Zeit für das Ausrichten der Teile zueinander aufwenden muss, da jedes Teil nur an eine Position passt und die Bolzen der Längsteile mit wenigen Zehnteln Spiel in die vorgesehenen Taschen passt. Aufgrund des Zusammensteckens der Bauteile mit Zapfen und Nuten ist die Gefahr des Verzugs beim Zusammenschweißen deutlich geringer.

Die selbstgebauten Teile sind, bis auf die Welle, nur Laser- und Kantteile. Der positive Aspekt davon ist, dass das Lasern von Teilen ein schneller Weg ist die Teile, mit der erforderlichen Genauigkeit, zu fertigen. Dies spart wiederum Kosten für die Fertigung der Teile und zudem können die Teile schneller geliefert werden.

Es wäre auch eine Option gewesen alle Teile der Maschine, außer die Antriebseinheit und Lager, selbst zu fertigen. Allerdings sind das hier eingesetzte Schneidwerk und das dazugehörige Sieb sehr gut in deren Funktion. Zudem wäre es nicht möglich diese Teile kostengünstiger zu fertigen, als sie von den Zulieferern angeboten werden. Der Grund hierfür ist, dass die Messer schwierig zu fertigen sind und aus einer speziellen gehärteten Legierung bestehen um sie abnutzungsbeständiger zu machen.

Die Befestigung des Siebs ist auch sehr einfach gehalten, damit man dieses schnell tauschen kann, falls eine feinere bzw. gröbere Zerkleinerung der Späne erwünscht ist oder es verschliffen ist. Die Regulierung der Feinheit erfolgt durch Siebbleche mit verschiedenen Lochgrößen. Je größer die Lochung des Siebes ist, desto größer sind die Späne die das Sieb passieren können. Der schnelle Wechsel des Siebs hat Auswirkungen auf die Stillstandzeit der Maschine, diese wird logischerweise verkürzt und auch die aufgewendete Arbeitszeit des Arbeiters für Wartungsarbeiten wird gesenkt. Zudem kann man die Messerwelle auch schnell ausbauen um Wartungsarbeiten durchzuführen. Es können auch einzelne Messer getauscht werden, falls eine Beschädigung aufgetreten ist. Man muss also nicht, bei einem verschlissenen Messer, das komplette Messerpaket tauschen.

An der Innenseite der Maschine sind so genannte „Schleißplatten“ verbaut. Der Sinn dieser Platten besteht darin dass es keinen Verschleiß am Rahmen der Maschine gibt, sondern an den angeschraubten „Schleissplatten“. Das hat zur Folge, dass die Basis der Maschine eine wesentlich längere Standzeit aufweist.

---

### **3.3 Teile des Zerkleinerers, deren Konstruktion und Funktion**

Dieses Unterkapitel ist in drei Kategorien aufgeteilt. Zuerst werden die zugekauften Teile betrachtet, als zweites die selbst konstruierten Teile und am Ende die Baugruppen, die erstellt wurden.

#### **3.3.1 Zukaufteile**

##### **3.3.1.1 Antrieb**

Als erstes ist hier der Motor zu erwähnen. Da für die Zerkleinerung von Metall ein hohes Drehmoment an der Messerwelle vorhanden sein. Hier wurde ein Stirnradgetriebemotor Typ „R57 DRN112M4“ der Firma SEW verwendet. Die technischen Daten sind dem Datenblatt im Anhang zu entnehmen. Das Einpflegen des Motors in SolidWorks ging reibungslos von statten, da man die CAD-Datei auf der Homepage des Herstellers herunterladen konnte und somit einfach integrieren konnte.

Um die Antriebseinheit zu vervollständigen geht es nun um den Riemenantrieb.

##### **3.3.1.2 Schneidwerk und Sieb**

Nun geht es um die hier verwendeten Messern. Der sogenannte Rotor des Schneidwerks besteht aus 20 Messern, welche auf einer Welle aufgefädelt sind. Der wichtigste Teil eines Solchen Messern sind die zwei Schneiden, die das Material packen und gegen den das fest installierte Gegenmesser drücken. Durch das weitere Drehen der Messer werden nun die erfassten Späne durch eine Scherbewegung zerkleinert. In der Bohrung, durch das die Welle gesteckt wird, befindet sich eine Nut für eine Passfeder. Diese Aussparung hat eine bestimmte Position zu den Schneiden. In einem Messersatz gibt es sechs verschiedene Positionen an denen die Nut am Messer eingefräst ist. Dadurch ist es möglich die Messer für ein optimales Schneidergebnis passend auszurichten (siehe Abbildung 2). Diese Ausrichtung hat den Vorteil das immer ein bis 2 Klingen im Eingriff sind und somit eine gleichmäßige Zerkleinerung des Materials vonstatten geht. Zudem werden so hohe Spitzenkräfte für die Maschine vermieden. Wie bereits in Punkt „3.2 Ideen zur kostenoptimierten Konstruktion“ erwähnt bestehen die Messer aus einem gehärteten Material, damit die Messer eine höhere Standzeit aufweisen.

---

Die Gegenmesser sind ebenfalls aus diesem Material gefertigt. Die Gegenmesser fungieren hier als Stator. Sie sind so konstruiert, dass die Messer perfekt in einzelnen Aussparungen passen.

Das Sieb besteht aus mehreren Teilen, die zu einer Einheit verschweisst werden. Der wichtigste Teil ist das halbkreisförmige, gelochte Blech. Der Radius des Bleches ist ... Millimeter größer als der Außenradius der Messer. An den umgekannten Enden sind Hül- sen angeschweisst, durch die die Stäbe zur Befestigung des Siebs geschoben werden. An der Außenseite des Siebs befinden sich quer und längs gerichtete Verstrebungen, die dem Sieb eine höhere Stabilität verleihen.

Auch die Lager sind nicht selbst gefertigt, sondern Zukaufteile. Die hier genutzten Lager sind Flanschlager der Firma SNR. Die hier verwendeten Lager sind sogenannte Pendel- rollenlager. Durch ihre Winkelbeweglichkeit sind Pendelrollenlager im Vergleich zu norma- len Kugellagern unempfindlicher gegenüber Fluchtungsfehler, von Welle zu Gehäuse oder durch die Durchbiegung der Welle. Des Weiteren sind sie radial äußerst belastbar, wodurch die Lager große axiale Kräfte in beide Richtungen aufnehmen können.

### **3.3.2 Eigenkonstruktionen**

Einige Teile, wie „Messerauflage“ oder diverse Kleinteile, sind im Anhang bei den Teil- zeichnungen und/oder der Stückliste zu finden. Die genauen Zeichnungen mit Bemaßun- gen, der hier betrachteten Teile, sind ebenfalls im Anhang zu finden.

---

### 3.3.2.1 Kantteile

Ein Teil des Gehäuses wird aus einer Blechplatte mit sechs Millimetern Dicke gefertigt. Diese Dicke ist für das Laserverfahren kein Problem und zudem ist es möglich das Blech auch problemlos zu kanten. Die Dicke ist, für die daraus gefertigten Teile, auch ausreichend groß dimensioniert.

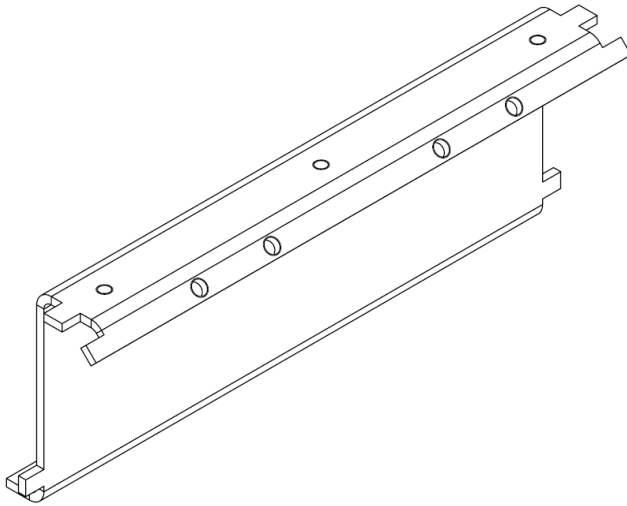
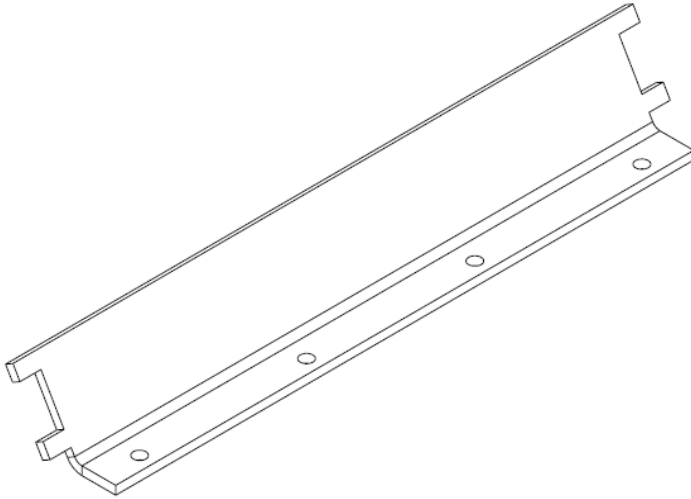


Abbildung 5: Rückwand

Die Rückwand ist das größte Kantteil. Im obigen Foto sind die Fortsätze für das Stecksystem zu erkennen. Diese Fortsätze werden in passend ausgeschnittene Löcher in den Seitenwänden gesteckt. Das untere Ende ist auf der Bodenplatte verschraubt und an den oberen Löchern kann man den Befüllungstrichter anschrauben. Unter der 135° Abkantung am oberen Ende werden die Haltehülsen für das Sieb angeschweisst.



*Abbildung 6: Vorderwand*

Das Gegenstück zur Rückwand ist die Vorderwand. Auch sind die rechteckigen Erweiterungen des Stecksystems zu sehen. Auch wird dieses Teil auf der Bodenplatte verschraubt. Man kann auch erkennen das dieses Bauteil um einiges kürzer ist und auch nicht mit einen 90° Winkel gekantet wurde. An der Innenseite der oberen Kante werden die Haltehülsen für das Sieb angeschweisst.

Diese zwei Kantteile dienen als Beispiele.



---

### 3.3.2.2 Seitenteile

Die Seitenteile sind drei, von der Grundform, sehr ähnliche Teile. Sie haben eine Wandstärke von 15 Millimetern. Sie dienen dazu die Kanteile miteinander verbinden und der Maschine die nötige Stabilität zu geben.

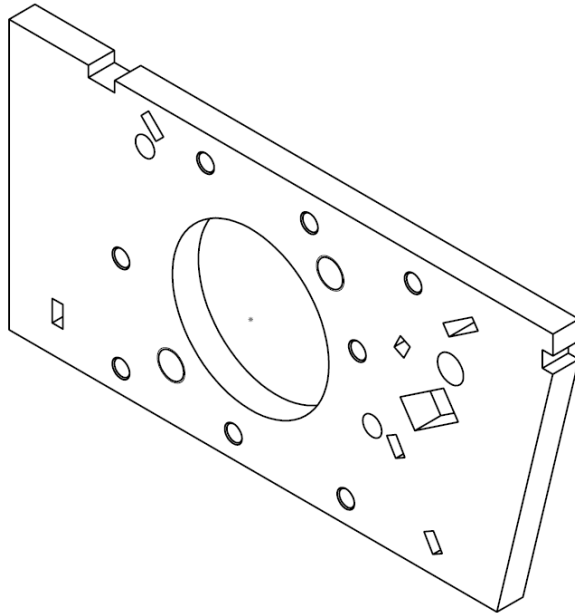


Abbildung 7: Seitenteil

Dieses Seitenteil ist der Deckel auf der Motorseite. Auf der nicht angetriebenen Seite sind zwei Seitenteile verbaut, da dort das Gewinde und der Spannmechanismus der Messer darin versteckt sind. Man kann hier auch die quadratischen Aussparungen für das Stecksystem sehen. Dort werden die Fortsätze der Kanteile eingesteckt. Durch die große Bohrung in der Mitte können die Messer in die Maschine gesteckt werden oder herausgenommen werden. Die anderen Bohrungen sind zum Befestigen der Schleißplatte, Verschrauben des aufgesetzten Lagers für die Welle, zum Durchstecken der Haltestäbe für das Sieb und ein Loch zur Reinigung von Spänen an den Gegenmessern.

---

### 3.3.2.3 Bodenplatte

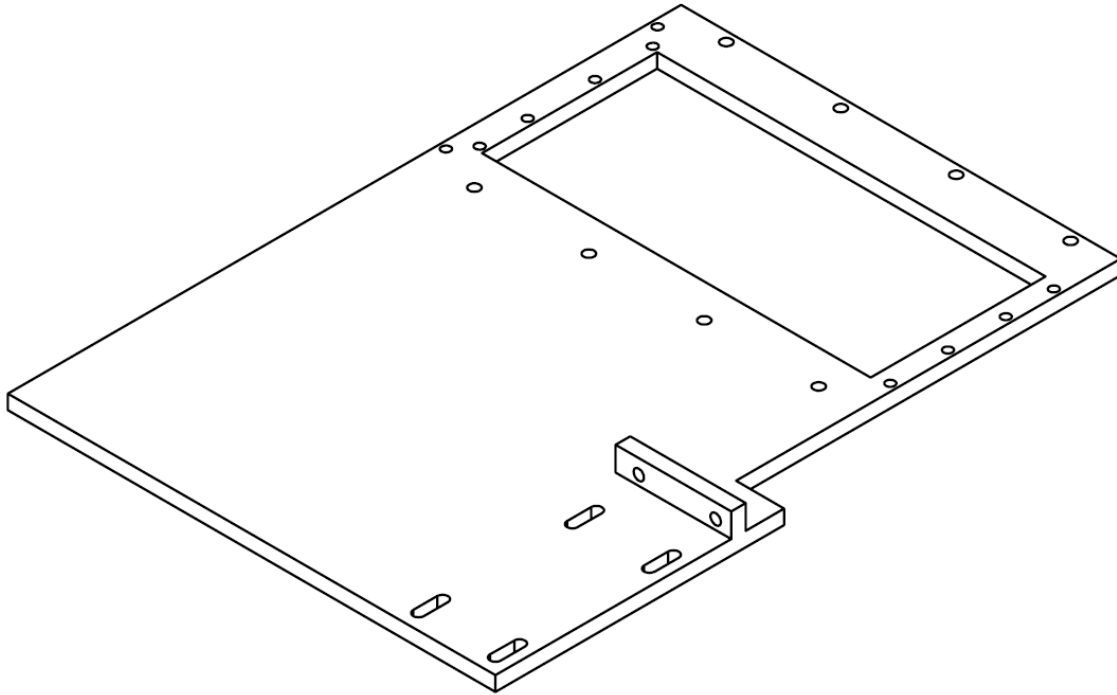


Abbildung 8: Bodenplatte

Die Bodenplatte ist ebenfalls ein Laserteil. Sie besteht aus 15 Millimeter dickem Stahl. Auf ihr werden die zusammengeschweißten Seitenteile und restlichen Rahmenelemente verschraubt. Zudem ist auf der Platte auch der Motor verschraubt. Sie bildet das Grundgerüst der Maschine und ist essenziell für die Anordnung und Ausrichtung von Motor und Schneidwerk. Daher war es wichtig bei der Konstruktion der Bodenplatte alle Parameter zu berücksichtigen und keine Fehler zu machen, da man diese nicht beheben kann.

---

#### 3.3.2.4 Welle



Abbildung 9: Welle

Die Welle ist das einzige Drehteil der gesamten Konstruktion. Im mittleren Teil, mit der Kerbe für eine Passfeder werden die Messer aufgefädelt und durch aufgesetzte Nutmuttern fixiert. Der dickere Durchmesser an eine Stelle dient dazu, dass hier die Messer, die auf der anderen Seite mit der Mutter fixiert sind, einen Anschlag haben. Ohne dieses System wäre ein Festziehen der Messer nicht möglich. Auf der anderen Seite der Welle befindet sich ebenfalls eine Nut. An dieser Wellenstummel befindet sich die Riemenscheibe, die vom Motor angetrieben wird.

---

### 3.3.2.5 Kleinteile

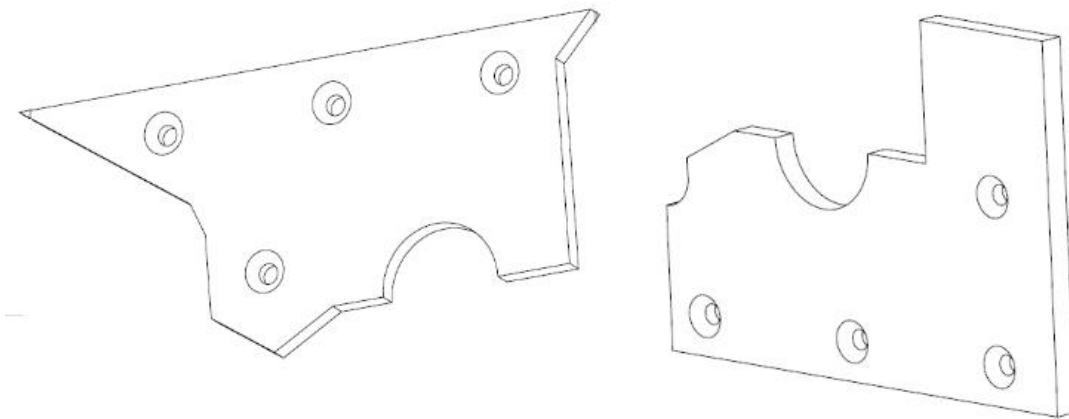
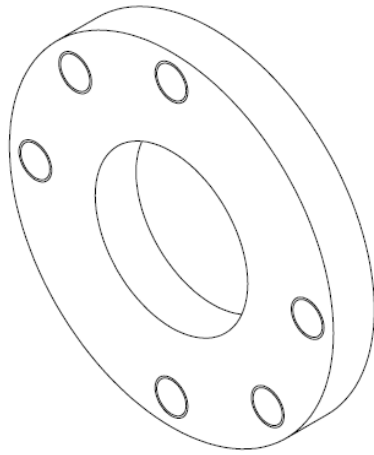


Abbildung 10: Zweiteilige Schweißplatte

Die Schleissplatte besteht aus zwei Teilen damit man diese tauschen kann, ohne die Welle aus der Maschine zu entfernen. Sie hat eine Dicke von sechs Millimetern, somit kann sie aus derselben Platte gelasert werden, aus der auch die Kantteile herausgeschnitten werden. Sie sind an der Innenseite des Zerkleinerers auf der angetriebenen Seite. Die Befestigung geschieht durch insgesamt acht Senkkopfschrauben, durch die Versenkung der Schrauben bleibt kein Material hängen. Die Position der Bohrungen für die Schrauben sind so angeordnet das sie nicht im Eingriffsbereich der Messer liegen, denn dies würde die Köpfe der Schrauben deformieren. Dadurch wären die Schrauben nicht mehr mit dem passenden Innensechskantschlüssel zu entfernen. Diese Platte ist auf der Antriebsseite verbaut.



*Abbildung 11: Schleißscheibe*

Diese Scheibe ist die Schleißscheibe für die nicht angetriebene Seite. Sie ist in die Aussparung des inneren Seitenteils eingelassen. Es sind sechs Gewinde in die Scheibe geschnitten, damit man die Scheibe von außen am äußeren Deckel festschrauben kann. Der Grund warum nicht dieselbe Technik, wie auf der anderen Seite, verwendet liegt darin das man nun durch das Entfernen des Äußeren Seitenteils die Messerwelle durch die runde Öffnung des inneren Deckels entfernen kann. Im Anhang ... ist eine Ansicht zu sehen, in der sich das Konzept erschließt.

---

### 3.3.3 Baugruppen

#### 3.3.3.1 Sieb

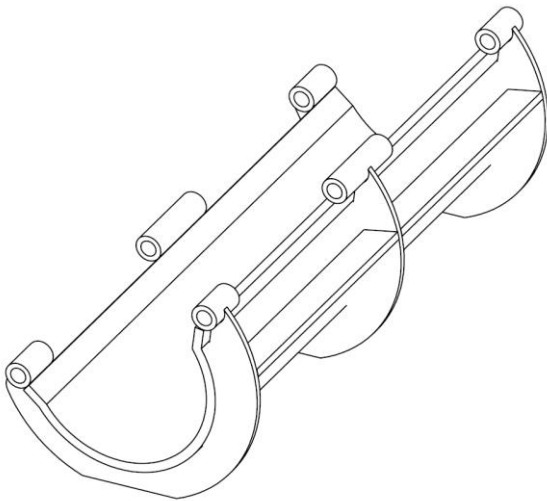


Abbildung 12: Sieb

Die Baugruppe Sieb besteht aus dem gebogenen Lochblech, Längs- und Querstreben, die dem Blech mehr Stabilität verleihen und sechs Rohrstücke, durch die die Siebstäbe zur Befestigung geschoben werden. Die halbrunden Längsstreben sind an der unteren Seite abgeflacht, da sie sonst unter der Bodenplatte der Maschine herausragen würden. Die ganzen Einzelteile werden zu einer Einheit zusammengeschweisst. Diese Unterbaugruppe wurde erstellt, da es fertig zusammenbaut von einem Zulieferer kommt. Zudem sind die Beziehungen der Einzelteile zueinander nicht relevant für die komplette Maschine sondern lediglich für das Sieb.

---

### 3.3.3.2 Messer

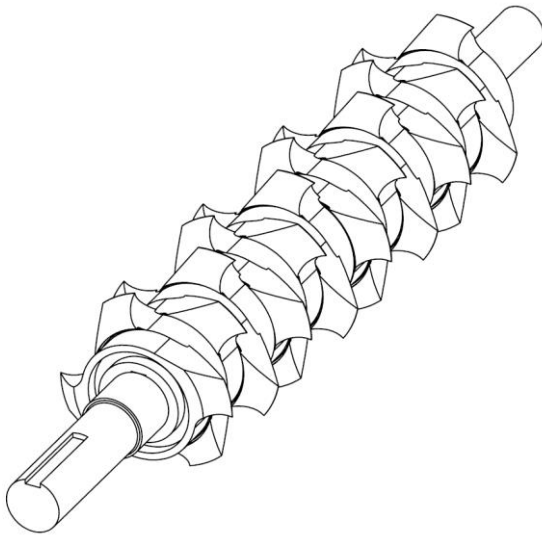


Abbildung 13: Welle mit Messern

Diese Baugruppe besteht aus den 20 Messern, der Welle, der Nut, einem Distanzring und der Spannmutter. Diese Einheit kann so durch das Öffnung im oben beschriebenen Seitenteil in die Maschine eingeführt werden. Die Baugruppe wurde erstellt, da es leichter ist dies als Unterbaugruppe in die komplette Maschine einzupflegen, da zwischen den einzelnen Baugruppen viele Beziehungen entstehen und es sonst äußerst unübersichtlich wird.

---

### 3.3.3.3 Vollständige Maschine

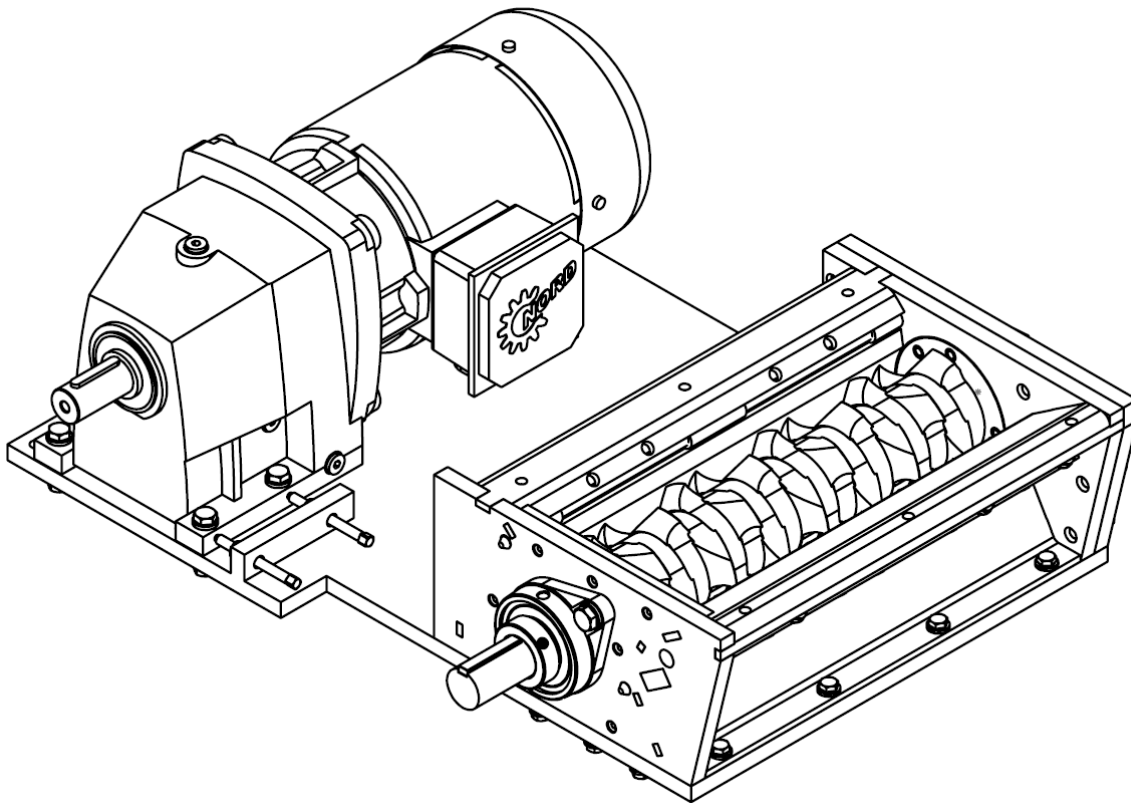


Abbildung 14: Komplette Maschine

Die Basismaschine besteht aus dem Schneidwerk (rechts), der Bodenplatte, dem Motor (Links), dem Schaltschrank (Nicht dargestellt und den Antriebskomponenten (Nicht dargestellt). Diese Ansicht dient der Übersicht, um zu erkennen, wie und wo welche Komponenten und Baugruppen angeordnet sind.

## 3.4 Aufgetretene Schwierigkeiten

Eigentlich sind die Messer Zukaufteile, aber es gab keine CAD-Dateien zum Herunterladen, also mussten die Messer selbst erstellt werden. Sie weisen eine komplexe Geometrie auf, was einige Zeit in Anspruch nahm die Messer zu konstruieren.

Auch die Aussparungen in den Seitenwänden für das Stecksystem waren kompliziert zu erzeugen. Da das Laserverfahren eine Toleranz von einem Zehntel Millimeter hat, musste dieser genau eingestellt werden, denn die Toleranz muss gleichzeitig so klein wie möglich



---

gehalten werden, damit eine größtmögliche Genauigkeit erreicht wird, damit weniger Zeit zum Ausrichten der Einzelteile aufgewendet werden muss.

Zudem war es schwierig die vollständige Baugruppe durch Beziehungen zueinander so zu gestalten, das die Maße von einzelnen Bauteilen verändert werden können, ohne diverse Fehlermeldungen zu erhalten. Dies war notwendig da einige Maße von Einzelteilen erst durch den virtuellen Zusammenbau ersichtlich wurden und demnach umgestaltet werden mussten. Aus diesem Grund wurde die finale Baugruppe nochmals komplett neu aufgebaut, um etwaige Fehler oder Inkonsistenzen auszumärzen.



---

## 4 Bau des Zerkleinerers

Zu Beginn gibt es zu sagen das hier auch weiter Zukaufteile erwähnt werden, die für eine, unter realen Bedingungen, funktionierende Anlage benötigt werden. Ein Beispiel hierfür wäre der Schaltschrank.

### 4.1 Vorstellung der Firmen

Der Laserzuschnitt und das Kanten der Metallteile wird bei der Firma Gogoll aus Deisenhausen durchgeführt. Auch ein Teil des Zusammenbaus und das Verschweißen der Längs- und Querteile erfolgt bei der Firma Gogoll.

Die Drehteile werden bei Metallteile Wieland hergestellt, da man dort das nötige Equipment besitzt eine Welle aus dem unten beschriebenen Material zu fertigen.

Der Schaltschrank wird von der Firma Becker zur Verfügung gestellt, da die Firma Becker bereits einige vergleichbare Anlagen ausgerüstet hat.

Da die Firmen nahe an der privaten Werkstatt liegen, spart man sich die Transportkosten und es können kurzfristige Änderungen an den Teilen umgesetzt werden. Zudem ist die Firma Gogoll spezialisiert auf das Lasern und Kanten von Metallteilen und besitzt logischerweise auch die notwendigen Maschinen hierfür.

Die Endmontage geschieht in der privaten Werkstatt.

---

## 4.2 Herstellung der Einzelteile und Zusammenbau

Zu Beginn mussten die CAD-Dateien in DXF-Dateien umgewandelt werden, damit die erzeugten Teile direkt an den CNC<sup>10</sup>-gesteuerten Laser- und Kantmaschinen eingespeist werden konnten.

### Laserteile

Als erstes wurden die ganzen Einzelteile gelasert. Dank der präzisen Angaben, der Firma Gogoll, zur Beschaffenheit der Zeichnungen (Ansichten, Bemaßungen, usw...) gab es keine Komplikationen beim Erstellen der Bauteile. Auch die Dicke der Stahlbleche stellte keine Herausforderung für die Laseranlage dar. Erst ab einer Metalldicke von 20 Millimetern wären die geforderten Toleranzen nichtmehr einzuhalten gewesen. Nachdem die Teile gelasert waren, wurden noch die Formsenkungen gebohrt, diverse Sacklöcher gebohrt und auch die Gewinde in das Bauteil geschnitten

Das Lasern der Teile war innerhalb eines Arbeitstages erledigt.

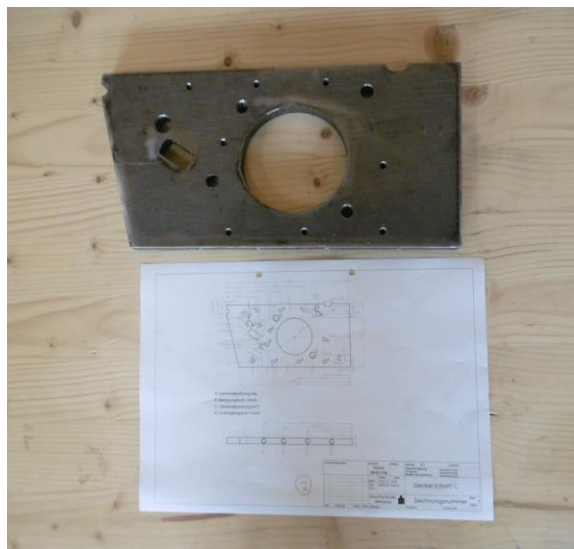


Abbildung 15: Gelaserte Teile

---

<sup>10</sup> „CNC“ – Computerized Numerical Control; Deutsch: „rechnergestützte numerische Steuerung“

---

## Kantteile

Auch die Rohlinge der Kantteile werden mithilfe eines Lasers aus der Metallplatte herausgeschnitten. Aber bei diesen Teilen kommt nach dem Ausschneiden noch ein weiterer Bearbeitungsschritt dazu: Das Kanten. Normalerweise wird bei Kantteilen am Anfang getestet, damit die Maße der Löcher nach dem Kanten sich an der richtigen Position befinden, da es bei einem umformenden Bearbeitungsverfahren Einflussgrößen gibt, die man nicht berücksichtigen kann. Nach Rücksprache mit Herrn Gogoll wurden die CAD-Dateien noch einmal überarbeitet, damit etwaige Unklarheiten von vornherein beseitigt waren. Ein wichtiger Punkt bei dieser Besprechung war, dass keiner der Zapfen über eine der Biegekanten reicht, da dies nicht sauber zu kanten wäre. Dadurch haben die ermittelten Maße, wie Winkel und gestreckte Längen auf Anhieb gepasst.



Abbildung 16: Gelaserte und gekantete Teile

---

## Welle

Die Welle ist das einzige Drehteil dieser Anlage. Da dieses Teil teilweise extreme Belastungen aushalten muss, wurde diese aus einer speziellen Legierung gefertigt, nämlich aus eine Chrom-Molybdän-Legierung (CrMo4). Er bietet im Vergleich handelsüblichem Baustahl eine wesentlich höhere Zähigkeit und eine höhere Festigkeit. Ein Datenblatt des Materials befindet sich im Anhang. Wegen der zäheren Legierung war die Bearbeitung, im Vergleich zu St37, um einiges schwieriger und langwieriger

Die Bearbeitung ist in der Firma Metallteile Wieland in Krumbach geschehen.



Abbildung 17: Welle mit Lager

---

## Schaltschrank

Der Schaltschrank ist das „Gehirn“ der Anlage, denn hier erfolgt die Steuerung aller Funktionen und Sicherheitsfeatures der Maschine. Er wurde von der Firma Becker zur Verfügung gestellt und komplett anschlussfertig geliefert. Die Hauptaufgabe ist die Ansteuerung des Motors und bei einer eventuellen Überlastung des Schneidwerks ein Reversieren des rotierenden Messersatzes zu veranlassen. Das bedeutet, wenn die Maschine zu viel Material auf einmal in das Schneidwerk zieht, die Drehrichtung umkehrt, um somit das bereits erfasste Spanmaterial wieder aus dem Messer zu befördern. Wenn dies geschehen ist, dann ändert sich die Drehrichtung des Motors in die Schneidrichtung und erfasst das Material an einer anderen Stelle und zieht es wieder in das Gegenmesser. Die Sicherheitsschalter sind Kontaktschalter. Das heißt, wenn sie geschlossen sind (z.B. Türe mit einem Teil des Schalters und Türrahmen mit anderem Teil des Schalters geschlossen sind und die beiden Teile des Schalters ineinandergreifen), gibt die Schaltung die Steuerung des Motors frei.



Abbildung 18: Schaltschrank geschlossen



Abbildung 19: Schaltschrank offen

---

## 4.3 Zusammenbau

Nachdem die einzelnen Bauteile gefertigt bzw. geliefert worden sind, konnte der Zusammenbau beginnen.

Zu Beginn wurden die Längs- und Querteile des Rahmens zusammengesteckt, um zu sehen ob sie ineinander passen. Zudem kann man danach sehen ob man zum Schweißen des Rahmens eine externe Aufbaute zum Ausrichten auf dem Schweisstisch benötigt. Abgesehen von kleinen Nacharbeiten mit der Flex an den Ecken des Stecksystems, damit das System ohne Fuge ineinander greift, waren keine weiteren Anpassungen durchzuführen. Diese Arbeiten sind aber beim Laserschneidverfahren nicht zu vermeiden. Nach der Nacharbeitung konnte man die gesamten Rahmenelemente zusammenstecken und verschweißen.



Abbildung 20: Seitenteil mit Messerträger

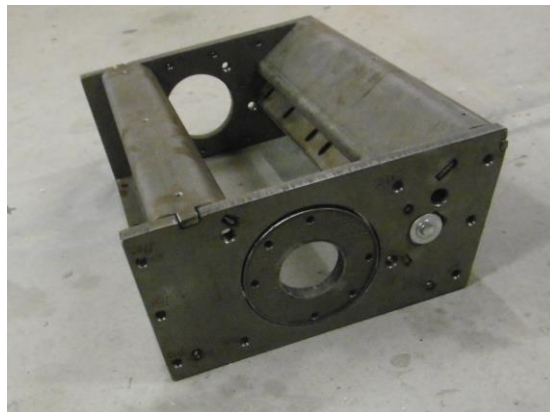


Abbildung 21: "Maschinenrahmen" und Schleißscheibe

Als nächster Schritt wurde die untere Hälfte der Schleißplatte montiert, da man an diese nach dem nächsten Arbeitsgang nichtmehr festschrauben kann. Danach wurde das Siebblech in das Gehäuse gesteckt und mit den Haltestäben in der korrekten Position fixiert. Dies klappte reibungslos, was bedeutet das die vorgesehen Bohrungen für die Haltestäbe an allen Seitenteilen an den richtigen Positionen sind.



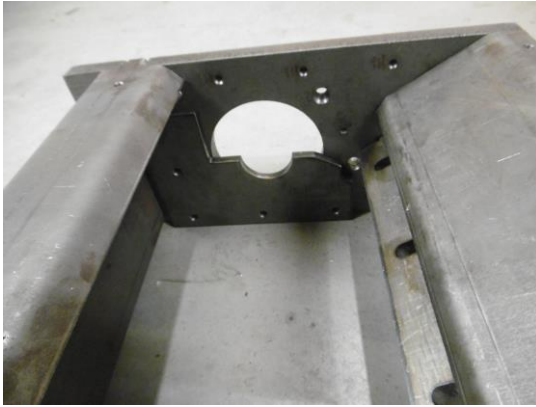


Abbildung 22: Eingesetzte Schleißplatte

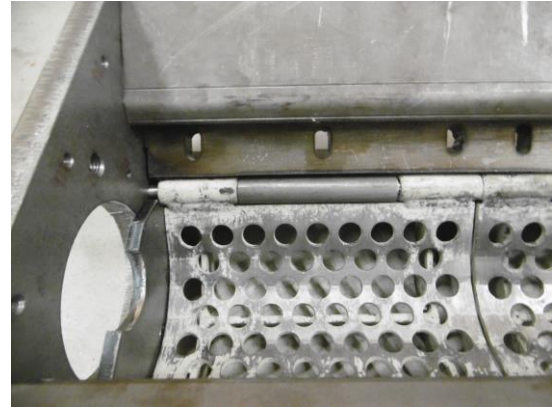


Abbildung 23: Eingesetztes Sieb

Daraufhin wurden die Lager an das Gehäuse geschraubt und die Welle eingeführt, um zu sehen ob die Welle gerade in der Maschine läuft oder ob es beim Schweissen der Maschine einen Verzug des Materials gegeben hat. Da dies nicht der Fall war, konnte man damit beginnen die Maschine komplett zusammenzubauen. Zunächst wurden die einzelnen Messer auf die Welle gesteckt und verschraubt. Hier war es wichtig zu beachten, dass die Messer in der richtigen Reihenfolge eingefädelt werden, da sonst nicht die richtige Schneideneinteilung gewährleistet ist. Als nächstes wurde noch die statischen Gegenmesser angeschraubt und ausgerichtet. Damit ist der Aufbau der Kernmaschine abgeschlossen. Darauffolgend wurde die Maschine auf die Bodenplatte geschraubt, damit man die fehlenden Komponenten, wie Antriebselemente noch anbringen kann. Als dies geschehen ist, konnte man den Motor auf der Bodenplatte montieren. Dies gestaltete sich ein wenig schwieriger als angenommen. Der Grund hierfür war die gewünschte kompakte Bauweise der Anlage. Dadurch war es schwierig an die, der Maschine zugewandten Schrauben heranzukommen und sie mit dem nötigen Drehmoment anzuziehen. Zudem begünstigte die Gussform des Motors, bzw die Anordnung der Schraubendurchgangslöcher, das Anziehen der Schrauben nicht gerade. Nachdem dies geschehen ist, konnte man die Riemenscheiben und den Riemen montieren. Hierbei war entscheidend darauf zu achten das die beiden Riemenscheiben parallel sind und sie eine Linie bilden, damit der Riemen perfekt läuft. Die letzten Arbeitsschritte, waren der Zusammenbau und das Befestigen des Trichters. Für diesen Trichter wurden Bleche mit 2 Millimeter Wandstärke benutzt. Zwei der vier Seiten wurden leicht gekantet, damit die Späne in die Maschine rutschen und sich nicht an den Seitenwänden des Trichters ablagern.

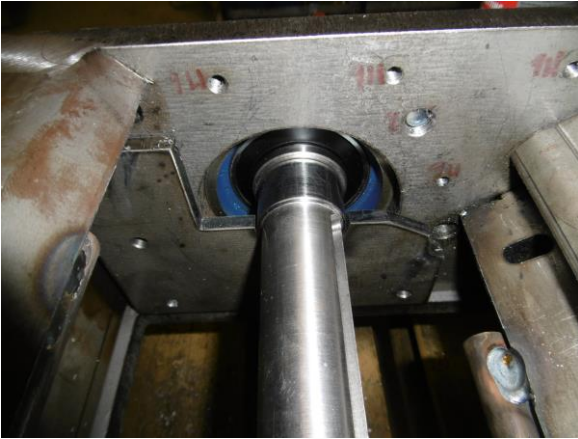


Abbildung 24: Maschine mit Welle und unterer Schleißplatte

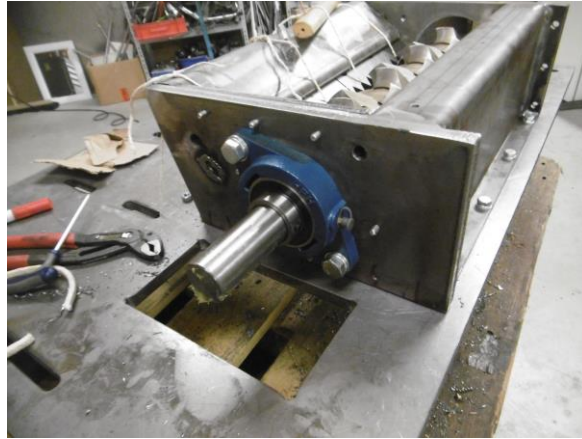


Abbildung 25: Welle an Maschine angeflanscht



Abbildung 26: Fertige Maschine, drehend

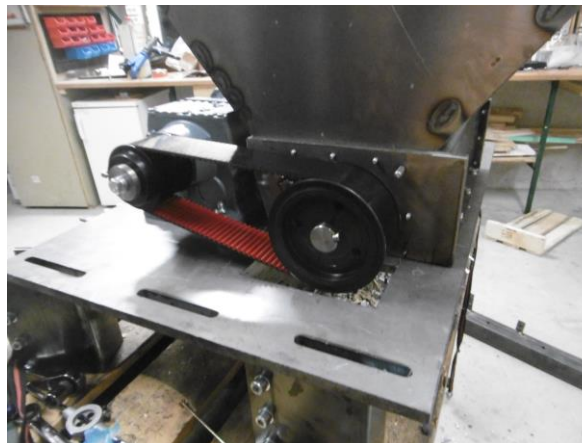


Abbildung 27: Riemenantrieb



*Abbildung 28: Komplette Maschine mit Trichter*

## 4.4 Fazit

Der Bau des Zerkleinerers ging sehr schnell von der Hand. Dank einer akribischen Vorbereitung und mit der Rücksprache mit Fachmännern aus dem Bereich der Zerkleinerung und der Metallverarbeitung, war der erste Prototyp ohne große Anpassungsarbeiten zusammengebaut und einsatzbereit für den ersten Probelauf.



---

## 5 Probelauf der Maschine

Die Prototypenanlage wurde bei der Firma Gartner Extrusions in Gundelfingen aufgebaut. Die Firma Gartner ist ein Teil der Gutmann Gruppe. Das Hauptfeld der Firma Gartner ist die Herstellung von Aluminiumprofilen mit geringen Toleranzen, welche in der Pneumatik und bei Linearantrieben eingesetzt werden. Des weiteren werden dort auch Profile für Aluminiumfassaden hergestellt. (<https://www.gutmann.de/de/gutmann-gruppe/unternehmen/standorte.html>)



Der Zerkleinerer wird dort durch einen Zyklon mit den Spänen einer Bolzensäge beschickt. Die dort zugeschnittenen Rohlinge bestehen aus Aluminium.





Abbildung 29: Einbauort des Zerkleinerers

---

## 5.1 Analyse der Späne

Wie bereits oben erwähnt sind die entstehenden Späne aus Aluminium. Eine Besonderheit hier ist, das die Säge ohne Schmiermittel läuft, um die Umwelt durch die Verwendung von weniger Schmiermittel zu schonen. Daher sind die Späne, die durch den Zyklon angesaugt werden komplett trocken. Eine weitere Besonderheit ist, das die Späne nicht konstant in die Maschine fallen, da sie durch eine Schleuße gesammelt werden und dann als größerer Späneknäuel in die Anlage fallen. Durch diese beiden Faktoren muss, im Verhältnis zu den eher dünnen und leicht zu zerstörenden Spänen, die Maschine und der Antrieb sehr große Kräfte aufbringen.

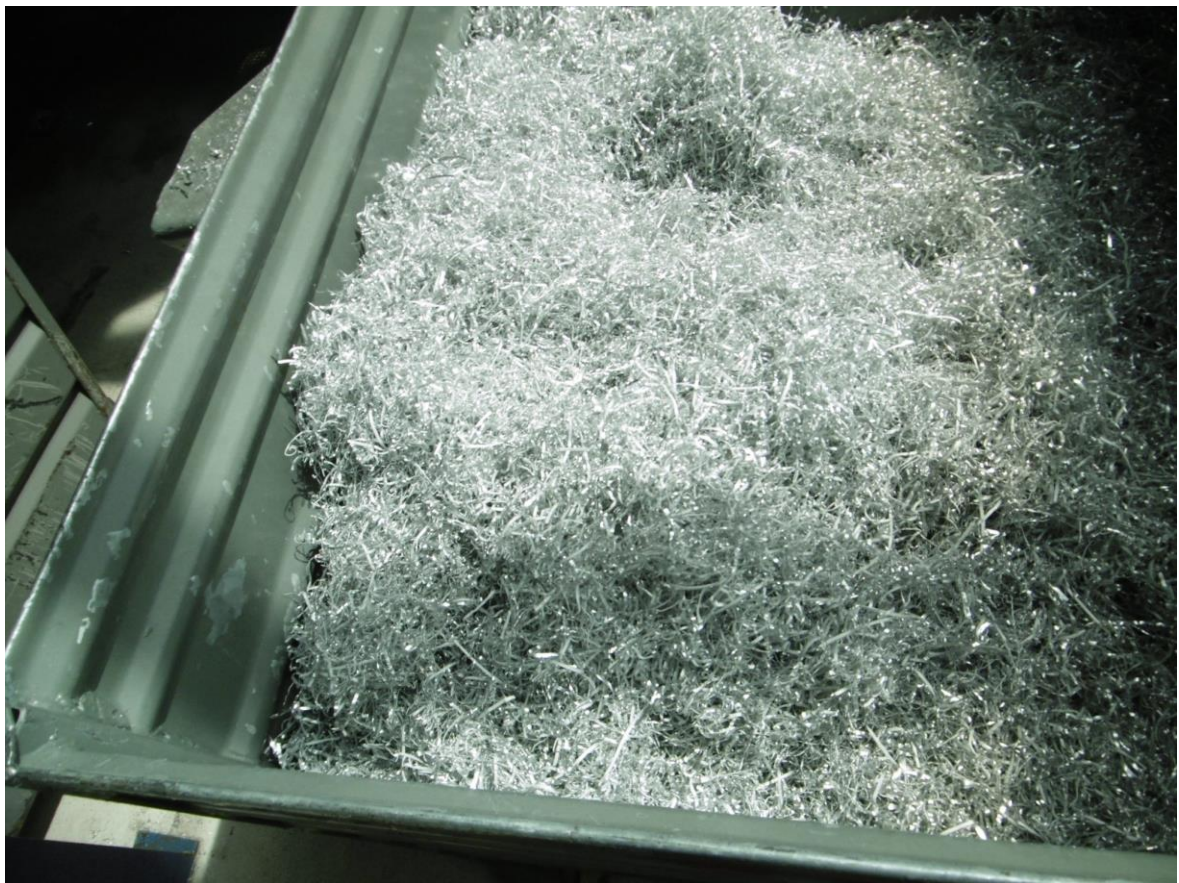


Abbildung 30: Zu zerkleinernde Späne

---

## 5.2 Zerkleinerung der Späne

Durch die beiden oben genannten Faktoren (Schmierstofffrei und eine große Spänemenge auf einmal) kommt es, bevor die Schneiden die Späne zerkleinern können, zu einer Kaltverschweißung der Späne. Diese kommt durch den ausgeübten Druck der rotierenden Schneiden, welche das Material erfassen und in die statischen Messer ziehen, zustande. Deshalb muss der Spänezerkleinerer bis zu 20 Millimeter dicke Aluminiumpresskuchen zerkleinern.

Dafür wurde die Maschine ursprünglich nicht ausgelegt. Durch die auftretenden Kräfte verformte sich die 15 Millimeter dicke Bodenplatte so weit, dass die Spannung auf dem Antriebsriemen nicht mehr gegeben war und der Riemen über die Verzahnung der Zahnriemenräder gesprungen ist und somit war die Funktionstüchtigkeit gegeben.

Allerdings wurde das Problem mit der Anpassung der Motorsteuerung und einer zusätzlichen Versteifung behoben. Zudem verbaute die Firma Gartner eine Minimalölschmierung nach ihrem Zyklon, um den Effekt der Kaltverschweißung zu verhindern. Diese Schmierung wäre für die nachfolgende Brikettieranlage ohnehin von Nöten gewesen, da auch diese Maschinen bei Trockenverarbeitung von Aluminium Probleme mit Kaltverschweißung haben. Durch diese Änderungen war eine dauerhafte Funktion der Maschine gewährleistet.

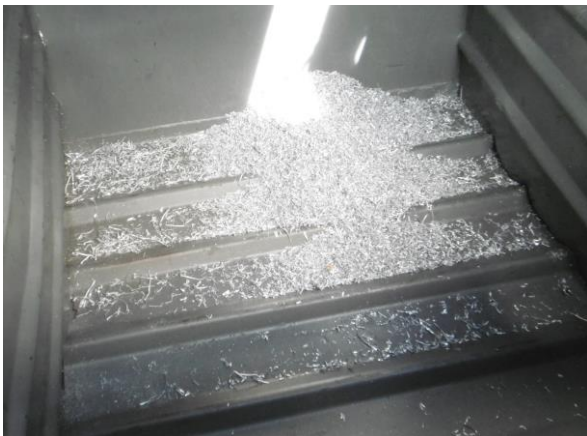


Abbildung 31: Späne nach Zerkleinerung

Im Anhang befinden sich Videos der laufenden Maschine.



---

## 5.3 Fazit

Abschließend kann man sagen das der Probelauf der Maschine gut verlief, allerdings nicht problemlos. Es wurde nicht beachtet das die Späne, durch die fehlende Schmierung und die stoßartige Weiterleitung in die Maschine, zu wesentlich dickeren Klumpen kaltverschweißt wurden. Allerdings wurden sehr schnell die richtigen Lösungsansätze gefunden und umgesetzt.

Des weiteren ist es nicht möglich zu sagen wie viel Volumen durch das Zerkleinern der Späne gespart wurde, denn es gab keine Möglichkeit einen Vergleich Volumens vorher und nachher zu machen, da es keine Möglichkeit gab, die vollen und leeren Spänekübel zu wiegen, um das Gewicht (ohne Zerkleinerung und mit Zerkleinerung) bei gleich bleibenden Volumen zu vergleichen.

Nach Rücksprache mit dem zuständigen Techniker der Firma Gartner konnte das Schüttgewicht um das fünf bis achtfache erhöht werden. Die große Schwankung kommt daher, das der Befüllungsgrad der Spänekübel, bevor der Zerkleinerer installiert wurde, stark schwankte.



---

## 6 Kostenaufstellung einer Komplettanlage

Im folgenden Kapitel geht es um die Kosten, die für eine komplette, schlüsselfertige Zerkleinerungsanlage anfallen.

### 6.1 Teile einer Komplettanlage



Abbildung 32: Komplettanlage von anderem Hersteller

Eine Komplettanlage besteht nicht nur aus dem Zerkleinerer mit Motor, sondern auch aus einem Einfülltrichter, einem Schaltschrank, der dazugehörigen Verkabelung, ein Gestell auf dem die Maschine steht, diverse Kleinteile, Kosten für Logistik und Montagearbeiten.

---

Auf dem obigen Bild ist eine Maschine mit einem sogenannten Eindrucker dargestellt. Der Eindrucker drückt große Späneknäuel in das Schneidwerk der Maschine, falls sich diese im Trichter verklemmen. In der folgenden Kostenaufstellung wird eine Anlage ohne Eindrucker betrachtet.

Der Einfülltrichter wird in manchen Fällen manuell mit den Spänen befüllt. Dies ist bei geringen Spanmengen oder bei Gelegenheitsbetrieb eine stark verbreitete Methode. Eine weitere Methode ist eine Hub-Kipp-Vorrichtung. Hier wird der Spänekübel an die Maschine herangefahren und der Spänekübel wird maschinell in den Trichter der Maschine gekippt. Die Variante, die meist für den Dauerbetrieb eines Shredders gewählt wird, ist die Beschickung des Zerkleinerers mit einem Förderband. Dieses nimmt die entstandenen Späne an der Werkzeugmaschine auf und befördert sie direkt in den Spänezerkleinerer. Der Vorteil dieser Variante ist es, dass hier keine großen Spanmengen auf einmal in die Anlage fallen, sondern ein konstanter Fluss von Spänen in die Maschine rieselt. Jede dieser Varianten hat eigene Anforderungen an das Einfüllsystem, daher muss der Trichter individuell angefertigt werden. Um Verletzungen zu vermeiden, muss der Trichter so gestaltet sein, dass man nicht hineingreifen kann. Für die einzuhaltenden Abstandsmaße und andere Abmessungen sind der DIN EN .... Zu entnehmen.

Der Schaltschrank dient der Steuerung des Motors der Zerkleinerers. Die elektronische Steuerungseinheit muss auch einige Sicherheitsfeatures steuern. Hierzu gehören ein Notaus-Schalter und Kontaktschalter. Der Notaus-Schalter am Schaltschrank muss so angebracht sein, dass man ihn schnell drücken kann, falls die Maschine versehentlich eingeschaltet wird und eine Gefährdung von Mensch oder Maschine entsteht. Neben der leichten Erreichbarkeit muss der Schalter auch so verbaut sein, dass er nicht bei normalem Betrieb ausversehen gedrückt werden kann. Die Kontaktschalter dienen dazu, dass man die Türe des eingehausten Gestells nicht bei laufender Maschine öffnen kann oder sie angeschaltet werden kann, solange die Türe geöffnet ist. Das funktioniert dadurch, dass bei nicht geschlossenem Kontakt (Türe offen) eine Fehlermeldung an die Steuerungseinheit geschickt wird, welche den sofortigen Stillstand des Motors zur Folge hat. Der Motor kann erst wieder gestartet werden, wenn die Fehlermeldung behoben ist, was durch das Schließen des Kontakts (Türe zu) geschieht.

Da man unter den Zerkleinerer eine Möglichkeit zum Abtransport der geschredderten Späne braucht, kann dieser nicht auf dem Boden stehen. Hierfür muss ein Gestell angefertigt werden, auf dem der Zerkleinerer befestigt wird. Auch hier muss individuell gearbei-

---

ten werden, da es, ähnlich der Thematik beim Trichter, verschiedene Wege gibt die Späne wegzubewegen. Neben einem Förderband, das die Späne zur Lagerstätte für Späne bringt, gibt es auch die Möglichkeit einen Spänewagen unter den Zerkleinerer zu fahren. Diese Variante ist wesentlich kostengünstiger und bei einem niedrigen bis mittleren Spanaufkommen leicht durchzuführen ohne viel Arbeitszeit aufzuwenden. Daher wird in dieser Kostenkalkulation von einem eingehausten Gestell ausgegangen, welches so gestaltet ist das ein Spänewagen hineinpasst. Neben dem Abtransport der Späne müssen auch räumliche Gegebenheiten beachtet werden. Ein Beispiel hierfür wäre eine Verengung des Weges, welcher für den Späneabtransport gedacht ist.

Da die Anlage nicht am Stück geliefert werden kann, sind ebenfalls noch Kosten für die Montage der Anlage zu beanschlagen. Der Zerkleinerer an sich wird in der Werkstatt fertig montiert. Aber das Zusammenfügen mit Trichter, Schaltschrank, Gehäuse, den Sicherheitsfeatures und das Verkabeln der Anlage erfolgt vor Ort.

## 6.2 Vergleich

Hier wird nun das eigene Angebot mit dem eines bekannten verglichen mit Blick auf die Kosten.

Kalkulation Späneshredder							
Baugruppe	Bauteil	Lieferant	Einkaufspreis	Arb.-Std	Std-Satz inkl GemK	Gemeinkosten-Aufschlag	Herstellkosten
Schneidwerk	Messer	Affilor	1.450 €			1,3	1.885 €
	Welle	Winkler	200 €			1,3	260 €
	Siebkorb	Fischer	130 €			1,3	169 €
	Lager	Knust	55 €			1,3	71 €
	Motor	SEW	539 €			1,3	700 €
	Riemenantrieb	Leise	317 €			1,3	412 €
	Laserteile	Gogoll	250 €			1,3	325 €
	Schrauben	Lutz	50 €			1,3	65 €
	Lack	SchwabenCoating	50 €			1,3	65 €
	Siebachsen	Gogoll	25 €			1,3	33 €
	Kohlegewebe f. Riemenschutz	R&G	90 €			1,3	117 €
	Eingangsfrachten		200 €			1,3	260 €
	Anfertigung Riemenschutz			4	45 €		180 €
	Schweißen Gehäuse			8	55 €		440 €
	Vormontage			4	55 €		220 €
	Lackierung			3	55 €		165 €
	Endmontage			3	55 €		165 €
Herstellkosten gesamt							5.532 €
Aufschlag für Vertrieb und Profitmarge				1,2			
Verkaufspreis							6.639 €

Abbildung 33: Kalkulation

Die rot eingefärbten Zeilen sind Zukaufteile und deren Preise können im Anhang in den entsprechenden Angeboten nachgeschlagen werden. Die mintgrün eingefärbten Zeilen sind Teile und Leistungen, die in eigenem Auftrag gebaut bzw. erstellt werden. Hier liegen keine konkreten Angebote vor, hierbei handelt es sich um praxisnahe Schätzungen, die mit den entsprechenden Firmen abgeklärt wurden. Der so genannte Gemeinkostenaufschlag ist ein prozentualer Zuschlag auf die Einzelkosten, der eine dem Verursachungsprinzip entsprechende Zurechnung der Gemeinkosten auf die Kostenträger ermöglichen soll. Die Gemeinkostenaufschläge lassen sich aus dem Betriebsabrechnungsbogen (BAB) für jede Endkostenstelle ermitteln<sup>11</sup>. Für die Ermittlung dieses Zuschlags wird hier von

<sup>11</sup> <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/gemeinkostenzuschlag.html>

---

einem reinen Fertigungsbetrieb ausgegangen und von daher kann man mit einem Gemeinkostenaufschlag verfahren.

Nach der Multiplikation der einzelnen Bauteile mit dem Gemeinkostenaufschlag erhält man die zu veranschlagenden Herstellkosten. Bildet man nun eine Summe aus den Herstellkosten, so erhält man die ganzen Herstellkosten.

Der Aufschlag für Vertrieb und Profitmarge ist ebenfalls ein multiplikativer Faktor. Die Herstellkosten gesamt werden mit diesem Wert multipliziert, um den Verkaufspreis zu erhalten. Dieser dadurch erzeugte Aufschlag bildet zum einen die Gewinnmarge und zusätzlich einen Spielraum für einen Rabatt oder ähnliches.

Diese Kalkulation wurde für das Angebot der Testmaschine an die Firma Gartner verwendet.

---

## 7 Reflexion und Zusammenfassung

### 7.1 Reflexion

Die Arbeit an diesem Projekt war eine Herausforderung, da sie die Entwicklung einer Idee, deren konkrete digitale und praktische Umsetzung, sowie den Vertrieb der einer Maschine beinhaltete.

Es war schwierig den Einstieg in das Thema zu finden, aber als die Arbeit gegliedert wurde und die verschiedenen Abschnitte und der Arbeitsaufwand abzusehen war, ist dies leicht von der Hand gegangen. Die konkreten Probleme mit den einzelnen Gliederungspunkten wurden bereits bei jedem Kapitel erwähnt, daher möchte ich dies kein weiteres Mal erwähnen.

Man lernte vieles über die Projektplanung und Umsetzung. Auch wurden durch diese Arbeit die Fähigkeiten mit dem CAD-Programm „SolidWorks“ weiter verfeinert.

### 7.2 Zusammenfassung

Es ist möglich durch den Einsatz moderner Fertigungstechniken einen Spänezerkleinerer zu bauen, der den gleichen Anforderungen, die an eine vergleichbare Konkurrenzmaschine gestellt werden, für ein wesentlich geringeres Budget zu bauen.

Allerdings ist die hier gebaute Maschine, genau wie die Konkurrenz, mit einigen speziellen Fällen, wie bei der Firma Gartner, an ihrem Limit angekommen und es kann dort nur durch geringfügige Änderungen zu einem reibungslosen Permanenteinsatz der Maschine kommen.

Zudem sind Kontakte von Nöten, um die selbst erstellten Teile mit der geforderten Qualität zu fertigen. Hierfür ist ein Maschinenpark mit einer Laseranlage, einer Kantbank und einer Drehbank notwendig.

Um den Preis noch ein wenig weitersensen zu können, ist es eine Option bei den Zulieferern eine größere Menge des selben Bauteils abzunehmen (z.B. kann man bei der Firma



---

Nord oder SEW nach einem Mengenrabatt bei mehreren Motoren Fragen. Dies funktioniert auch analog zu den anderen Teilen).



---

# Literatur

BME: Umweltfibel Band 5: „*Umweltgerechte Lagerung von Gefahrenstoffen*“

Broschüre Firma Erdwich: „*Einwellenzerkleinerer*“

Broschüre Firma Erdwich: „*Metallspäneaufbereitung*“

Broschüre Firma Metas: „*Spänezerkleinerer ZKSSW*“

CAD Grundlagen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/SolidWorks#CAD-Programm>

Degner, Lutze, Smejkal (2002): „*Spanende Verformung*“, S.56, Hanser Verlag, 15. Auflage

Grundlagen Spanerzeugende Prozesse:

<http://www.precifast.de/spanende-fertigungsverfahren/>

Koether, Rau (1999): „*Fertigungstechnik*“, S.116, Hanser-Verlag, 2. Auflage

Riederer, Wolfgang, Erichsen, Jörgen (2013): „*Praxiswissen Angebote und Kalkulationen*“, 1.Auflage

---

# Anlagen

Die Anlagen sind der beigefügten CD-ROM zu entnehmen und beinhalten folgendes Material:

1. Broschüren:

- Erdwich\_Einwellenzerkleinerer.pdf
- Erdwich\_Spanaufbereitung.pdf
- Metas\_Zerkleinerer\_ZKSSW\_1.pdf

2. Bemaßte Teilzeichnungen

- Auflage.pdf
- Deckel\_Schnitt\_E\_neu.pdf
- Welle\_neu\_Austragung.pdf

3. Datenblatt CrMo4-Stahl

- Werkstoffdatenblatt\_42CrMo4.pdf

4. Videos laufender Spänezerkleinerer

- Mit\_Material\_Oben.mov
- Mit\_Material\_Unten.mov
- Ohne\_Material.mov

5. Diplomarbeit

- Diplomarbeit\_Adrian\_Graf\_WI12-w1.pdf

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hohenraunau, den 20.11.2017

Adrian Graf